

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 01-185968  
(43) Date of publication of application : 25. 07. 1989

(51) Int. Cl.

H01L 29/72  
H01L 29/66  
// H01L 29/86

(21) Application number : 63-011130  
(22) Date of filing : 20. 01. 1988

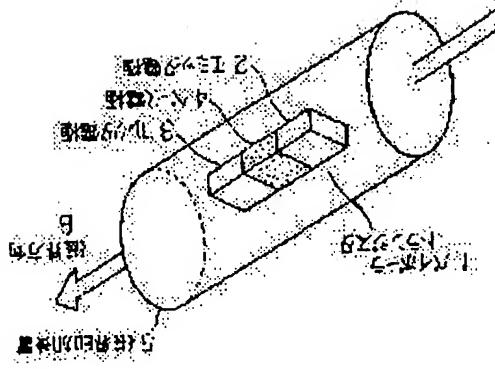
(71) Applicant : NEC CORP  
(72) Inventor : YAMADA TOSHIHIGE

## (54) ONE-DIMENSIONAL ELECTRON TRANSFER BIPOLAR TRANSISTOR BY MAGNETIC FIELD APPLICATION

(57) Abstract:

PURPOSE: To establish a high performance bipolar transistor with high speed switching by applying a magnetic field to the transistor in a base-collector direction, the magnetic field being such that cyclotron oscillation energy of a conduction electron is sufficiently larger than lattice temperature.

CONSTITUTION: A magnetic field application device 5 is provided which applies a magnetic field B to a bipolar transistor 1 in a base 4 and collector 3 directions of the transistor, the magnetic field being such that cyclotron oscillation energy of a conduction electron is sufficiently larger than lattice temperature. The strong magnetic field is applied to the bipolar transistor 1 in the directions of the base 4 and collector 3 of the same in such a manner to form a Landau level and hence arrange electrons on the lowest level for assurance of one-dimensional electrons. Hereby, mobility of electrons in a base layer, that is, a diffusion constant of the electron is raised, thus realizing a high performance transistor with high switching rate.



[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C) ; 1998, 2000 Japan Patent Office

## ⑪ 公開特許公報 (A) 平1-185968

⑤Int.Cl.<sup>4</sup>  
H 01 L 29/72  
29/66  
// H 01 L 29/86

識別記号

府内整理番号

8526-5F  
8526-5F  
Z-7638-5F 審査請求 未請求 請求項の数 1 (全3頁)

②発明の名称 磁界印加による1次元電子伝導バイポーラトランジスタ

③特願 昭63-11130

④出願 昭63(1988)1月20日

⑤発明者 山田俊茂 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑥出願人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号

⑦代理人 弁理士 内原晋

## 明細書

## 1. 発明の名称

磁界印加による1次元電子伝導バイポーラトランジスタ

## 2. 特許請求の範囲

1. バイポーラトランジスタに、該バイポーラトランジスタのベースコレクタ方向に伝導電子のサイクロトロン振動エネルギーが格子温度に比べて十分に大きくなる磁界を印加する磁界印加装置を組合せたことを特徴とする磁界印加による1次元電子伝導バイポーラトランジスタ。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔産業上の利用分野〕

本発明はバイポーラトランジスタ、特に磁界印加による1次元伝導電子を利用したバイポーラトランジスタに関する。

## 〔従来の技術〕

バイポーラトランジスタの動作原理は、例えばシェー(Sze)による文献「フィジックス・オブ・セミコンダクタ・デバイス(Physics of Semiconductors and Devices)」に記述されている。

このトランジスタの特性を向上させるには上記文献から明らかなように、ベース層中における電子の移動度を大きくすること、即ち拡散定数を大きくすればよい。これによって電子のベース走行時間が短縮され、トランジスタの高速性能が改善される。

電子の移動度を大きくする有力な方法の一つに、チャネルを1次元化する方法がある。柳による文献「Proceedings of International Symposium on GaAs and Related Compounds」1981年(日本)251頁に掲載の論文によると、断面方向の長さが電子のドブロイ波長程度の100 Å角砕化ガリウム量子細線では、電子の断面方向の波数が量子化されてサブバンドが形成され、状態密度が1次元的になる。

この細線において、温度が30°K以下では不純物散乱、30°K以上では音響フォノン散乱が支配的となる。また、100°K以下ではほとんどの電子が最低次サブバンドにあり、1次元系の特徴が現われる。

温度が30~100°Kでは、音響フォノン散乱が支配的で、なおかつ、ほとんどの電子は最低次サブバンドにある。この状況で、電子の移動度は

$$\mu = 130,000 d/V_s \times \sqrt{\frac{300(K)}{T(K)}}$$

で与えられる。従って、温度を30~100°Kに保ち、電子を1次元量子細線中で伝導させると、空間的に一様な3次元材料を用いた場合に比べ、大幅に移動度が改善される。

#### (発明が解決しようとする課題)

しかし、従来の1次元網線を形成する方法によれば、ペトロフ(Petroff)らによる文献「アプライド・フィジックス・レターズ誌(Applied Physics Letters)」1982年 第41巻 635頁に掲載の論文のように~10<sup>3</sup> Åの精度の微細加工技術を必要としたり、又は同じくペトロフらによる文献「アプライド・フィジックス・レターズ誌(Applied Phys-

ics Letters)」1984年 第45巻 620頁に掲載の論文にあるように結晶方位軸の値かに傾いた基板上に生ずるステップ上に1原子層づつ結晶成長を行う特殊な技術が必要であった。

本発明の目的はこれらの加工技術又は結晶成長技術を用いず、磁界を印加することにより1次元伝導状態の電子を得てベースの走行時間を短縮し得るバイポーラトランジスタを提供することにある。

#### (課題を解決するための手段)

本発明はバイポーラトランジスタに、該バイポーラトランジスタのベースコレクタ方向に伝導電子のサイクロトロン振動エネルギーが格子温度に比べて十分に大きくなる磁界を印加する磁界印加装置を組合せたことを特徴とする磁界印加による1次元電子伝導バイポーラトランジスタである。

#### (作用)

バイポーラトランジスタのベース、コレクタ方向に強磁界を印加してランダウ準位を形成させ、最低準位に電子を配置し、1次元電子を得てベー

ス層中の電子の移動度、従って電子の拡散定数を大きくすることにより $f_T$ が大きく、スイッチング時間の速い高性能トランジスタが実現される。

#### (実施例)

以下に本発明の実施例を図によって説明する。  
第1図は本発明の基本的構成を示す図である。図において、1はバイポーラトランジスタ、2はそのエミッタ電極、3はコレクタ電極、4はベース電極である。本発明は前記バイポーラトランジスタ1に、磁界印加装置5を組合せたものである。該磁界印加装置5によりバイポーラトランジスタ1に印加する磁界の方向Bは図示のようにベース-コレクタ方向である。磁界印加装置5より磁界がトランジスタ1に印加されると、例えば荒川らによる文献「アプライド・フィジックス・レターズ誌(Applied Physics Letters)」1985年 第47巻 11号1142頁に掲載の論文に述べられているように、トランジスタ1中の電子は磁界と垂直方向の運動が量子化され、そのエネルギーEは

$$E = (n + \frac{1}{2}) h \omega_c + \frac{(h K)^2}{2 m^*}$$

で表わされる。ここでnはランダウ準位を示す量子数、hはプランク定数、Kは磁界方向の電子波数、 $\omega_c$ はサイクロトロン振動数で磁界Bを用いて $eB/m^*$ と表わされる。ここでeは電子の電荷、 $m^*$ は該半導体中の電子の有効質量である。

ここで、磁界が十分に強く、温度 $K_B T$ に比べて

$$h \omega_c > K_B T$$

なる条件を満たしていれば、弱電界ではほとんどの電子がn=0の準位におり、1次元電子系となる。

この場合、電子の状態密度P(E)は

$$P(E) = \frac{L}{2\pi} \cdot \frac{1}{h} \left( \frac{2m^*}{E - \frac{1}{2}h\omega_c} \right)^{\frac{1}{2}}$$

であり、エネルギーの-1/2乗の依存性を持つ。従って、前記構の論文と同一の状況が実現され、1次元電子の高移動度伝導が起こる。

現実の物質についてこの条件が成立する温度と印加すべき磁界の大きさを考察する。例えば、ベース層材料が珪化ガリウムであるNPN型珪化ガリ

ウムホモ接合バイポーラトランジスタあるいはNPN型アルミニウム砒化ガリウム／砒化ガリウムヘテロ接合バイポーラトランジスタの場合には、サイクロトロン振動エネルギー $\hbar\omega_c$ を100 A角砒化ガリウム細線中に生じる第1，第2サブバンドのエネルギー差167meVに等しいとするとB=97Tを得る。従ってベース材料が砒化ガリウムの場合、1次元伝導電子を得るには、温度を30~100°Kに下げる、100T程度の磁界を印加すればよい。

他のベース層材料で1次元量子細線を実現できる磁界の大きさを見積るには上記磁界に砒化ガリウムの有効質量で規格化したその材料の有効質量を掛けばよい。例えば、コレクタ層材料がシリコンであるNPN型バイポーラトランジスタでは、サイクロトロン振動 $\hbar\omega_c$ を100 A角砒化ガリウム中に生じる第1，第2サブバンドのエネルギー差167meVと等しいとして、B=470T，100A角のシリコン中に生じる第1，第2量子準位のエネルギー差34meVに等しいとして、B=97Tである。さらにベース層材料がシリコンの場合には、温度を30

~100°Kに下げる100~500Tの磁界を印加すればよい。すなわち、バイポーラトランジスタのベース、コレクタ方向に伝導電子のサイクロトロン振動エネルギーが材料の格子温度に比べて十分に大きくなる磁界を印加することによって1次元電子の高移動度伝導が得られる。

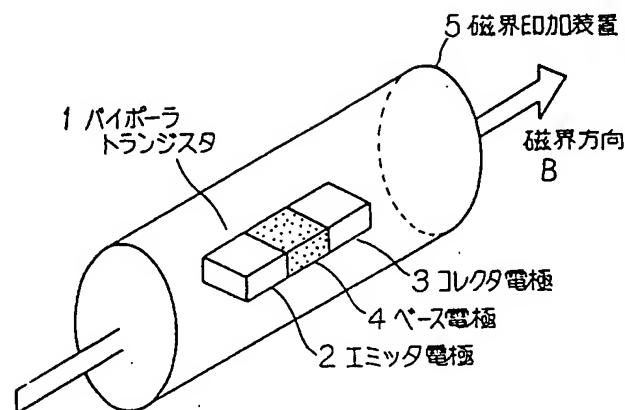
#### 【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば厄介な加工技術、結晶成長技術によることなくベース層中に1次元電子を得ることができ、ベース層中の電子の移動度、従って拡散定数が大きくなることから、電子のベース走行時間が短縮され、 $t_{on}$ が大きく、スイッチング時間の速い高性能バイポーラトランジスタを実現できる効果を有する。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例を示す構成図である。

1 … バイポーラトランジスタ	2 … エミッタ電極
3 … コレクタ電極	4 … ベース電極
5 … 磁界印加装置	



第1図